

FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO TERMOPLÁSTICO COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BORRA DE CAFÉ

Thaís Fátima Rodrigues – thais.fatimarodrigues@gmail.com
Universidade Feevale
ERS-239, nº 2755
CEP 93525-075 – Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul

Jenifer Panizzon – panizzonj@gmail.com
Universidade Feevale

Márcia Regina de Moura Aouada – marcia.aouada@unesp.br
UNESP – Ilha Solteira/SP

Vanusca Dalosto Jahno – vanusca@feevale.br
Universidade Feevale

Resumo: Os princípios atribuídos ao ESG e à Economia Circular são importantes para o avanço da sustentabilidade em diversos eixos da sociedade. A geração e o descarte de resíduos sólidos são uma problemática constante relacionada a severos impactos ambientais. A reutilização de resíduos orgânicos produzidos em grandes quantidades, como a borra de café, pode ser uma possibilidade de alterar este cenário. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes biodegradáveis a partir de amido termoplástico, utilizando resíduos de borra de café para aplicação em embalagens para plantas. A metodologia empregada para a produção dos filmes foi executada inicialmente pela secagem da borra de café e mistura com amido de milho solúvel, glicerol e água deionizada. Essa solução foi aquecida, agitada mecanicamente e a formação dos filmes ocorreu pelo método de casting. A caracterização foi realizada pela análise de fotografias, espectroscopia na região de infravermelho, termogravimetria e umidade. Também foram desenvolvidas embalagens com os filmes produzidos. Os resultados demonstraram que os compósitos apresentaram coloração marrom e superfície rugosa, além do perfil químico e térmico semelhante ao amido e ao resíduo de borra de café, porém um menor percentual de umidade foi observado para os compósitos em relação aos filmes de amido termoplástico. Portanto, foi possível desenvolver filmes e embalagens biodegradáveis para plantas utilizando amido e borra de café, que podem ser degradados em solo ou compostados, fechando o ciclo biológico, sem oferecer riscos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Amido de milho, Compósito, Embalagem biodegradável, Resíduo orgânico.



BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC STARCH FILMS WITH REUSE OF COFFEE GROUND WASTE

Abstract: The principles attributed to ESG and the Circular Economy are important for advancing sustainability in different axes of society. The generation and disposal of solid waste is a constant problem related to severe environmental impacts. The reuse of organic waste produced in large quantities, such as coffee grounds, could be a way of changing this scenario. The aim of this study was to develop biodegradable films from thermoplastic starch, using coffee grounds waste to be applied in plant packaging. The methodology used to produce the films was initially performed by drying the coffee grounds and mixing them with soluble corn starch, glycerol, and deionized water. This solution was heated, mechanically stirred and the films were formed using the casting method. The characterization was conducted by photo analysis, infrared spectroscopy, thermogravimetry and humidity. Packages were also developed using the films produced. The results showed that the composites presented a brown color and rough surface, as well as a chemical and thermal profile similar to starch and coffee grounds residue, but a lower percentage of moisture was observed for the composites compared to thermoplastic starch films. Therefore, it was possible to develop biodegradable films and packages for plants using starch and coffee grounds, which can be degraded in soil or composted, closing the biological cycle without posing any risks to the environment.

Keywords: Corn starch, Composite, Biodegradable packaging, Organic waste.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo vem enfrentando diversas crises, dentre elas estão as mudanças climáticas e a pandemia de Covid-19, em que a gestão de resíduos foi significativamente impactada (HOSSAIN *et al.*, 2024).

No Brasil, o marco legal que aborda a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. A PNRS define os resíduos sólidos como um material descartado resultante de atividades humanas em sociedade (BRASIL, 2010). Em 2022, foi estimado que o país gerou aproximadamente 77,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), correspondendo em torno de 1,04 kg de RSU por habitante. Destes resíduos, 93% foram devidamente coletados, porém apenas 61% foram dispostos em aterros sanitários (ABREMA, 2023). Portanto, segundo o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), os municípios brasileiros possuem diversos atrasos no cumprimento das metas da PNRS, principalmente relacionado a reciclagem, que apresenta uma média de 3,5%, além da destinação incorreta dos resíduos, que ocorre em cerca de 43% das cidades analisadas (ABREMA, 2023).

Os resíduos orgânicos foram estimados como o principal componente dos RSU, compreendendo as perdas e sobras de alimentos, resíduos verdes e madeiras (ABRELPE, 2020). Um tipo representativo deste resíduo, com enorme produção anual, é a borra de café (FU *et al.*, 2023).

Segundo a Organização Internacional do Café – ICO (2023), a produção mundial foi estimada em 171,3 milhões de sacas no ano 2022/2023, o que equivale a aproximadamente 10,2 milhões de toneladas. O cultivo de café Arábica é predominante, representando 57,5% da produção mundial. Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2023) também indicam que o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com quase



3 milhões de toneladas cultivadas em 2021. Além disso, o café verde está entre as 20 commodities brasileiras mais produzidas e com maior valor bruto.

Em relação ao consumo per capita dos brasileiros, a Associação Brasileira da Indústria de Café – ABIC (2022) divulgou que 5,96 kg de café cru e 4,77 kg de café torrado foram consumidos ao ano. As vendas foram predominantemente feitas no varejo, com preferência pelo café do tipo tradicional ou extraforte, seguido pelo consumo em estabelecimentos comerciais, como bares, restaurantes e cafeterias.

O café é a bebida mais consumida no Brasil depois da água (EMBRAPA, 2015). Durante o seu processo de preparação, é estimada a utilização de 7 g de café torrado e moído para cada xícara de café expresso. Dessa forma, a borra é inevitavelmente gerada como resíduo, sendo normalmente descartada ou queimada (DORIGO; SARON, 2019). Entretanto, ao ser considerada como um recurso, a borra de café é rica em nitrogênio, compostos hidrofóbicos e insolúveis como óleos, lipídeos e celulose, além de ser uma excelente fonte de minerais, principalmente de potássio, fósforo, magnésio e cálcio (CHALKER-SCOTT, 2021; SOARES *et al.*, 2015).

Assim, impactos podem ser atenuados por meio da reciclagem de resíduos orgânicos, conforme afirma Guo *et al.* (2021), uma vez que possibilita a melhora significativa da proteção ambiental, a conservação de recursos, o desenvolvimento econômico e a proteção da saúde humana. De acordo com Moussa *et al.* (2022), é fundamental a redução e a separação da fração orgânica para a transição de uma sociedade sustentável e com uma economia circular.

Compreendendo a necessidade de uma melhor gestão dos recursos, a economia circular interrompe a lógica baseada em extrair, transformar, consumir e descartar, assim como apresenta princípios para incentivar a eliminação de resíduos e de poluição, evitando o desperdício de recursos ao manter produtos e materiais em uso. Além de regenerar sistemas naturais, que possibilita o retorno de nutrientes ao solo e aos ecossistemas que os necessitam, tendo em vista que o objetivo não deve ser causar menos impactos, mas promover a qualidade ambiental (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2023).

De acordo com Babkin *et al.* (2023), os conceitos atribuídos ao *Environmental, Social and Governance*, conhecido pela sigla ESG, e à economia circular estão relacionados. O ESG aborda fatores ambientais, sociais e de governança que devem ser considerados na tomada de decisão de investimentos e negócios, auxiliando as empresas a avaliarem e gerenciarem riscos e oportunidades pertinentes à sustentabilidade. Em convergência a essa ideia, a economia circular está focada em reduzir a geração de resíduos e criar um sistema fechado onde os recursos são utilizados de forma mais eficiente.

A partir dessa percepção, materiais biodegradáveis podem ser aplicados em diversos segmentos, como em embalagens e na agricultura, sendo uma alternativa aos plásticos oriundos de recursos não renováveis, como o petróleo. Dessa forma, as misturas preparadas com amido são excelentes opções de bioplásticos devido a abundância desta matéria-prima e grande capacidade de produção global (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2023). Portanto, o objetivo deste estudo é desenvolver filmes biodegradáveis a partir de amido termoplástico, utilizando resíduos de borra de café para aplicação em embalagens para plantas.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparo dos filmes biodegradáveis

Resíduo de borra de café (*Coffea arabica*) foi coletado em uma cafeteria de Novo Hamburgo/RS. Em seguida, foi desaglomerada manualmente e seca em estufa com circulação forçada de ar a 50°C por aproximadamente 12 horas, conforme Mendes *et al.* (2019).



Os compósitos foram produzidos a partir de 18 g de amido solúvel, 5,4 g de glicerol (30% em massa em relação ao amido), 5,4 g de borra de café e 600 mL de água deionizada. Filmes de amido termoplástico sem a borra de café também foram preparados para comparação.

Para a gelatinização do amido, a solução permaneceu a 70 °C sob agitação mecânica constante em 70 rpm, durante 30 minutos. Em seguida, foi vertida e nivelada em formas de vidro com folhas antiaderentes de Teflon®. Foi utilizada a técnica de *casting*, em que a secagem ocorreu em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, durante 6 horas.

2.2. Caracterização dos filmes

Os filmes foram analisados em relação ao seu aspecto visual por meio de fotografias. O perfil químico foi avaliado a partir da análise na região do infravermelho, no intervalo entre 4000 cm⁻¹ e 650 cm⁻¹, utilizando um espectrofotômetro (marca Perkin Elmer, modelo Frontier MIR), acoplado ao acessório de reflexão total atenuada (ATR). A análise termogravimétrica (TGA) foi avaliada pela temperatura de decomposição em função da perda de massa em um Analisador Térmico Simultâneo (marca Perkin Elmer, modelo STA 6000), realizada em atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 10 mL.min⁻¹, taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹ e rampa de aquecimento entre 25 °C e 600 °C, conforme parâmetros utilizados por Collazo-Bigliardi *et al.* (2019). A determinação do teor de umidade foi realizada em duplicata, com amostras de aproximadamente 1,5 gramas, em um equipamento (marca Ohaus, modelo MB23) configurado para operar em modo automático, até atingir massa constante, em uma temperatura de 105 °C. Os filmes e as matérias-primas foram mantidos em dessecador para a realização das respectivas análises.

2.3. Desenvolvimento e teste do protótipo de embalagem para plantas

Para desenvolver a embalagem foi utilizado um filme de amido termoplástico e um filme compósito de amido e borra de café, com dimensão de 24 cm por 15 cm. As laterais foram aquecidas para a selagem. O teste do protótipo foi realizado com o auxílio de uma flor popularmente conhecida como Vinca (*Catharanthus roseus*), disponível comercialmente no verão, sendo adicionado água conforme a necessidade da planta e monitorado por fotografias durante 7 dias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

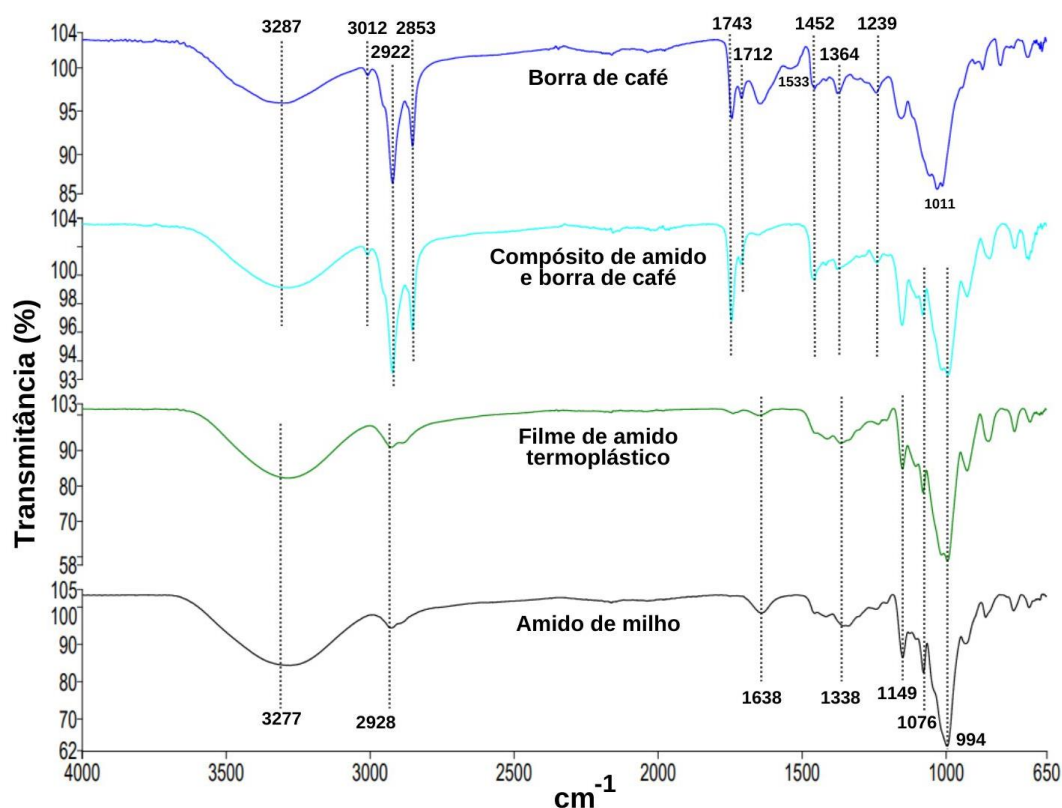
A análise visual obtida a partir de fotografias, conforme demonstrado na Figura 1, indica que o compósito possui grânulos de borra de café, os quais são insolúveis em meio a solução de amido (GAZONATO *et al.*, 2019). Dessa forma, o material apresentou coloração marrom, com característica rugosa na superfície superior. Além disso, foi observado que o filme de amido termoplástico aparentou ser incolor e transparente, porém com diversas pequenas bolhas.

Figura 1 - Fotografias da superfície inferior (a-c) e superfície superior (b-d) do compósito de amido e borra de café (a-b) e do filme de amido termoplástico (c-d)



Em relação ao espectro apresentado na Figura 2, o resíduo de borra de café e seu compósito possuem semelhanças na estrutura química. Segundo Tapangnoi *et al.* (2022), a borra de café possui uma banda larga em 3287 cm^{-1} referente a ligação O-H, correspondente aos polissacarídeos, ácidos graxos e polifenóis. Em 3012 cm^{-1} , uma pequena banda foi observada devido ao C-H presente na lignina. As fortes bandas em 2922 cm^{-1} e em 2853 cm^{-1} foram atribuídas a vibração de alongamento da ligação C-H, enquanto em 1452 cm^{-1} , a vibração de flexão é visualizada para C-H. Em aproximadamente 1743 cm^{-1} e 1712 cm^{-1} há as ligações de C=O e C=C, respectivamente, relacionados a cafeína, hemicelulose e ácido clorogênico. A banda em 1533 cm^{-1} indica a vibração em C-N de proteínas ou aminoácidos. A banda em 1364 cm^{-1} pode ser atribuída ao COO-. A ligação C-O presente na lignina ocorreu em 1239 cm^{-1} e a banda em 1011 cm^{-1} está relacionada aos componentes celulósicos e da lignina.

Figura 2 - Perfil químico dos filmes e matérias-primas

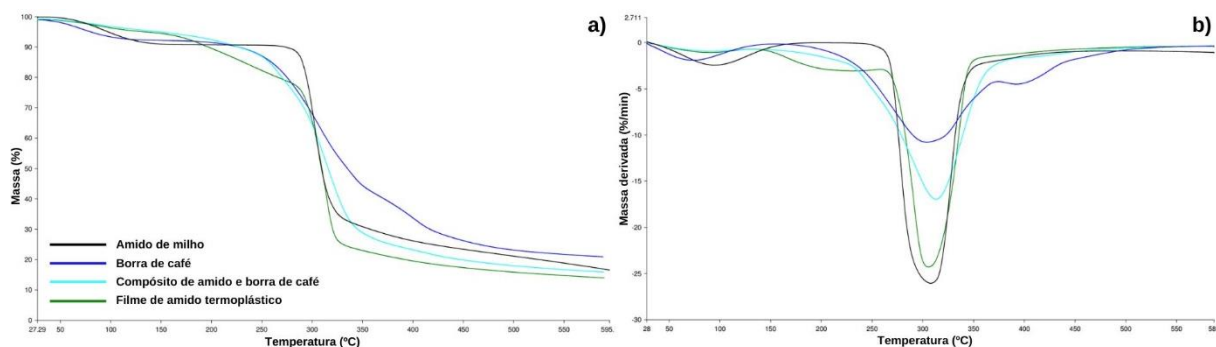


Em ambos os filmes, na faixa entre 3000 e 3600 cm^{-1} , o grupo funcional O-H também está associado ao amido. No entanto, para o compósito a intensidade foi consideravelmente menor do que para o filme de amido termoplástico (LIU *et al.*, 2024). A vibração da ligação C-H está relacionada a banda em 2928 cm^{-1} . Em 1638 cm^{-1} , a adsorção de água ao filme foi atribuída. Em 1338 cm^{-1} , 1149 cm^{-1} e 1076 cm^{-1} ocorreram diferentes vibrações da ligação C-O-H, enquanto em 994 cm^{-1} foi visualizada uma ligação típica da amilopectina (PAVONI *et al.*, 2019; DAI *et al.*, 2019).

As curvas termogravimétricas (TGA) e as suas derivadas (DTG), conforme a Figura 3, demonstram que ocorreram dois eventos térmicos semelhantes para os filmes e matérias-primas estudados, sendo o primeiro até 100 °C e o segundo em aproximadamente 300 °C , conforme obtido por Schutz *et al.* (2024). Entretanto, foram observadas diferentes perdas de massa para o filme de amido termoplástico e para o resíduo de borra de café.



Figura 3 - Análise termogravimétrica das farinhas: a) TGA e b) DTG



De acordo com a Tabela 1, a primeira perda de massa relacionada a evaporação de água e compostos voláteis ocorreu entre 68 °C e 90 °C para todos os materiais. O filme de amido termoplástico apresentou um evento térmico em 198 °C que não foi visualizado para o compósito, mas pode estar associada a degradação da fase rica em glicerol, além da decomposição do amido, que ocorreu em 305 °C (ZHANG *et al.*, 2023; GONZÁLEZ-SELIGRA *et al.*, 2017). Em relação a borra de café, a segunda perda de massa, em 304 °C, pode estar relacionada a degradação dos maiores constituintes deste resíduo, como a hemicelulose e a celulose, enquanto a terceira perda de massa, em 393 °C, foi relatada devido a decomposição da lignina e outros compostos orgânicos com fortes ligações químicas (TAPANGNOI *et al.*, 2022). Assim, o compósito que possui um evento térmico em 313 °C provavelmente está degradando o amido de milho e a celulose presentes na sua formulação.

Tabela 1 - Eventos térmicos relacionados a análise termogravimétrica

Amostra	1ª T (°C)	2ª T (°C)	3ª T (°C)
Compósito de amido e borra de café	68,3	313,0	-
Filme de amido termoplástico	74,3	198,0	305,7
Borra de café	72,7	304,7	393,6
Amido de milho	90,2	309,2	-

A Tabela 2 apresenta o teor de umidade dos filmes desenvolvidos, em que o conteúdo de água do filme de amido termoplástico foi maior do que o compósito de amido e borra de café. É possível que a adição do resíduo de borra de café tenha causado um efeito hidrofóbico devido a presença do óleo de café, conforme foi observado por Wang *et al.* (2022).

Tabela 2 - Teor de umidade dos filmes biodegradáveis

Amostra	Teor de umidade (%)
Compósito de amido e borra de café	2,6 ± 0,1
Filme de amido termoplástico	4,0 ± 0,4

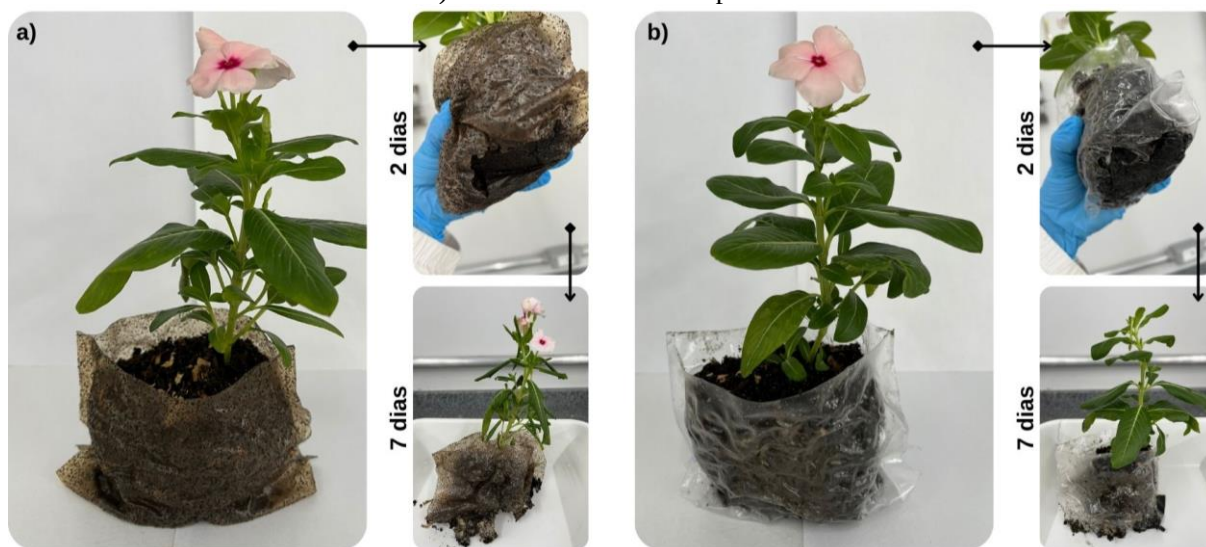
Em relação as embalagens descartáveis para plantas, a produção normalmente é comercializada em formato de sacos ou *bags* de polietileno. No entanto, o seu descarte ocorre logo após o plantio das mudas em jardins e hortas, ocasionalmente também sendo disposto incorretamente no solo ou sendo realizada a queima do resíduo. Além disso, a grande quantidade de matéria orgânica aderida na embalagem dificulta a reciclagem do plástico, sendo outra preocupação relacionada a este contexto (BILCK *et al.*, 2014). Segundo o recente relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA (2024), a inércia da gestão global de resíduos apresenta um alto custo para a saúde humana, ambiental e econômica. Nesse sentido, é urgente a adoção de abordagens lixo zero e



que promovam a economia circular, que deve ser realizada mediante uma drástica redução na geração de resíduos para possibilitar um futuro habitável no planeta.

Como forma de contribuir com esse cenário desafiador, neste trabalho foram desenvolvidas embalagens biodegradáveis, conforme a Figura 4. Com ambos os filmes foi possível produzir uma embalagem e manter uma planta durante 7 dias, em que o comportamento pela exposição ao solo e umidade foram semelhantes. Após esse período, as plantas em seus respectivos sacos biodegradáveis foram transplantadas para um jardim.

Figura 4 - Protótipo de embalagem para plantas: a) Compósito de amido e borra de café e b) Filme de amido termoplástico



Algumas limitações foram observadas após o teste de aplicação das embalagens produzidas, devendo ser utilizadas de forma temporária devido a sensibilidade apresentada em função da manipulação física e da exposição a umidade do solo, principalmente na parte inferior, onde ficou concentrada maior quantidade de água. Ajustes na formulação e no processo serão realizados em trabalhos futuros para aprimorar essas características.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos são um desafio devido ao grande volume gerado diariamente pela população. A produção agrícola e vegetal pode contribuir com essa situação ao utilizar embalagens bioplásticas biodegradáveis, desenvolvidas a partir de recursos biológicos, como o amido, e com o reaproveitamento de resíduos orgânicos, como a borra de café.

Neste trabalho, foi proposto e testado filmes compósitos de amido termoplástico e borra de café, os quais apresentaram semelhanças na estrutura química com o resíduo. Isso pode estar relacionado, do ponto de vista da Economia Circular, à manutenção das características químicas da borra de café que podem ser benéficas para a planta e ao solo, possibilitando o retorno desses nutrientes e compostos ao ambiente natural.

Além disso, foi observado uma elevada estabilidade térmica para os filmes, com degradação ocorrendo acima de 300 °C e redução do teor de umidade com a utilização do resíduo. Os filmes com grânulos de borra de café também apresentaram redução na quantidade de bolhas superficiais, melhorando o seu aspecto visual e coloração marrom.

Por fim, um protótipo de embalagem biodegradável para plantas foi desenvolvido. O teste realizado foi bem-sucedido, resultando na indicação de uma aplicação temporária com mudas que podem ser transplantadas para hortas ou jardins, contribuindo para a redução na geração de resíduos sólidos descartáveis, especialmente os materiais de origem plástica.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Universidade Feevale pela infraestrutura e à Universidade Estadual Paulista – UNESP pelo apoio para a realização deste estudo, assim como agradecem à CAPES e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **Indicadores da Indústria do Café**. Disponível em: <<https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da%20industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. 52 p.

ABREMA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023**. São Paulo, 2023. 54 p.

ABREMA. **Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana**. São Paulo, 2023. 44 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 02 ago. 2010.

BABKIN, A. *et al.* Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 9, p. 100071, 2023.

BILCK, A. P. *et al.* Biodegradable bags for the production of plant seedlings. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 547–553, 2014.

CHALKER-SCOTT, L. Using coffee grounds in gardens and landscapes. **Research Gate**, p. 1-7, 2021.

COLLAZO-BIGLIARDI, S. *et al.* Improving properties of thermoplastic starch films by incorporating active extracts and cellulose fibres isolated from rice or coffee husk. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, p. 100-383, 2019.

DAI, L. *et al.* Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 897-905, 2019.

DORIGO, L. S.; SARON, A. Aproveitamento do resíduo da borra de café em substituição à solução nutriente para cultivo de alface hidropônica. **Revista de Saúde, Meio ambiente e Sustentabilidade**, vol. 14, p. 1-20, 2019.



EMBRAPA. **Café é a segunda bebida mais consumida no Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2574254/cafe-e-a-segunda-bebida-mais-consumida-no-brasil>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **What is the circular economy?** Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>>. Acesso em: 09 mar. 2024.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Applications for bioplastics**. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

FU, L. *et al.* Antioxidant and ultraviolet shielding performance of lignin-polysaccharide complex isolated from spent coffee ground. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 230, p. 123245, 2023.

GAZONATO, E. C. *et al.* Thermomechanical Properties of Corn Starch Based Film Reinforced with Coffee Ground Waste as Renewable Resource. **Materials Research**, v. 22, p. e 20180416, 2019.

GONZÁLEZ-SELIGRA, P. *et al.* Influence of extrusion process conditions on starch film morphology. **LWT**, v. 84, p. 520-528, 2017.

GUO, H. *et al.* Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. **Bioresource Technology**, v. 319, p. 124- 114, 2021.

HOSSAIN, M. A. *et al.* Crisis-driven disruptions in global waste management: Impacts, challenges and policy responses amid COVID-19, Russia-Ukraine war, climate change, and colossal food waste. **Environmental Challenges**, v. 14, p. 100-807, 2024.

LIU, F. *et al.* Improving water resistance and mechanical properties of starch-based films by incorporating microcrystalline cellulose in a dynamic network structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 260, p. 129-404, 2024.

MENDES, J. F. *et al.* Development and physical-chemical properties of pectin film reinforced with spent coffee grounds by continuous casting. **Carbohydrate Polymers**, v. 210, p. 92-99, 2019.

MOUSSA, T. *et al.* Spent Coffee Grounds as Building Material for Non-Load-Bearing Structures. **Materials**, v. 15, p. 1689, 2022.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ (ICO). **Coffee Market Report: April 2023**. Disponível em: <<https://www.icocoffee.org/documents/cy2022-23/cmr-0423-e.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **FAOSTAT – Countries by commodity**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PAVONI, J. M. F. *et al.* Impact of acid type for chitosan dissolution on the characteristics and biodegradability of cornstarch/chitosan based films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 138, p. 693-703, 2019.



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **O mundo precisa superar a era do desperdício e transformar o lixo em recurso.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/261852-pnuma-o-mundo-precisa-superar-era-do-desperd%C3%ADcio-e-transformar-o-lixo-em-recurso>>. Acesso em: 05 mar. 2024.

SOARES, L. S. *et al.* Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades. **Revista Matéria**, v. 20, p. 550-560, 2015.

SCHUTZ, G. F. *et al.* Limonene and its derived oligomer as bioactive additives in starch/coffee husks biocomposites for food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 260, p. 129-482, 2024.

TAPANGNOI, P. *et al.* Preparation of purified spent coffee ground and its reinforcement in natural rubber composite. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, p. 103-917, 2022.

WANG, Y. *et al.* Effect of green coffee oil as a natural active emulsifying agent on the properties of corn starch-based films. **LWT**, v. 170, p. 114087, 2022.

ZHANG, J. *et al.* Effects of different sources of cellulose on mechanical and barrier properties of thermoplastic sweet potato starch films. **Industrial Crops & Products**, v. 194, p. 116-358, 2023.

